

# HIDROGEOLOGIA COMO UM DOS CRITÉRIOS DE DESERTIFICAÇÃO

Francisco Negrão<sup>1</sup>; Marjorie Nolasco<sup>2</sup>; Leônidas Marques<sup>3</sup>; Marcos de Oliveira Silva<sup>3</sup>; Elisângela Barbosa Alves<sup>3</sup>; Ana Paula Mascarenhas<sup>3</sup>; Rosângela Leal<sup>2</sup>, Ardemírio de Barros Silva<sup>2</sup>, Joeselisa Maria Chaves<sup>2</sup>, Washington de Jesus Santana da Franca Rocha<sup>2</sup>, Raquel Vale<sup>4</sup>.

**Resumo** - A desertificação, entendida como distúrbio causado pelo homem, é interdisciplinar. Produz sistemas antrópicos e altera a compreensão geológica-geomorfológica sobre deserto. O comportamento físico e biótico face à antropização interfere no desertificar. Como elemento do meio físico a potencialidade dos aquíferos regula a descarga das águas subterrâneas garantindo o fluxo sazonal de nascentes, rios e lagos. Por isto, incluiu-se nestes estudos, o critério hidrogeologia, ainda não observado na literatura, para análise e proposição de políticas públicas sobre risco de desertificação. O estudo foi realizado para a Bahia destacando-se as áreas de: Guanambi; Irecê; Jeremoabo e Juazeiro. Resultando em critérios hidrogeológicos, para desertificação. Utilizou-se para tanto o banco de dados da CERB e mapas pré-existentes: vazão de exploração, vulnerabilidade, nitratos, qualidade e potencialidade por aquífero. Os primeiros apresentam relação direta com a desertificação, onde quanto maior a exploração maior o rebaixamento; a vulnerabilidade implica risco de poluição e, o nitrato implicando grau de poluição. Os demais critérios apresentam relação inversa, quanto maior o volume armazenado e a qualidade natural da água nos aquíferos, menor a possibilidade de desertificação. A potencialidade foi o critério mais relevante para mitigar o risco de desertificação frente à disponibilidade e diversidade de uso.

**Abstract**<sup>5</sup> - Desertification is human disturbance, that has a interdisciplinary perspective. Make man-made systems and changes the geological and geomorphological understanding of deserts. The compartment of biotic and physical elements of this human disturbance interfere into desertification, the disponibility of water is determinate and this aquifer is your regulator, creating or ensuring the flow of springs, rivers and lakes. Because this, analyses and suggestion by public policies from

---

<sup>1</sup> CERB (Companhia de Engenharia Ambiental do Estado da Bahia); 3ª. Avenida S/N, CAB, Centro Administrativo, Fone: 71 87316408, [francisco.negrao@cerb.ba.gov.br](mailto:francisco.negrao@cerb.ba.gov.br).

<sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana - PPGM-UEFS. Av. Transnordestina, s/n, Campus da UEFS, Modulo V, PPGM; Fone: 75 32248371, [marjorie.nolasco@gmail.com](mailto:marjorie.nolasco@gmail.com); [rosaleal@gmail.com](mailto:rosaleal@gmail.com)

<sup>3</sup> Curso de Graduação em Geografia - Iniciação Científica UEFS

<sup>4</sup> Departamento de Ciências Humanas e Filosofia da UEFS - Curso de Geografia, endereço vide nota 2, 7532248202. [valeraquel@gmail.com](mailto:valeraquel@gmail.com)

<sup>5</sup> Tradução por Jade Cseko Nolasco Ribeiro([jade.jaja@gmail.com](mailto:jade.jaja@gmail.com)).

Bahia desertification include hydrogeology criteria, it is absent in the bibliography. The study areas was Guanambi; Irecê; Jeremoabo and Juazeiro; yours results present by hydrogeology criteria indicators of desertification. The system of CERB and maps: capacity, vulnerability, pollution degree, potentiality and water quality in the aquifer, were used. The first maps is directly related to desertification, the greater the exploitation of the aquifer increased the risk of excessive drawdown, the higher vulnerability, increase the risk of pollution and destruction of the aquifer and the degree of pollution less likely to use. The last maps present the opposite function, the higher quality and water volume stored in aquifers the lower possibility of desertification, helping to avoid or mitigate because have disponibility and use diverse. The potentiality or storage capacity of aquifers is the criterion of greatest relevance.

**Palavras chave** - Água Subterrânea, Desertificação, Modelagem.

## **1-INTRODUÇÃO**

O presente trabalho visa analisar os riscos de desertificação decorrentes das características naturais dos diversos aquíferos existentes no Estado da Bahia e da sua utilização. O Ingá (Instituto de Águas e Clima da Bahia) com a finalidade de publicar o Atlas de Desertificação do Estado da Bahia selecionou, para análise detalhada, quatro áreas passíveis de desertificação no Estado: Guanambi - no sudoeste; Irecê no centro; Jeremoabo e Juazeiro, ao norte (Figura 1).

Nos diversos trabalhos realizados até o momento, as análises de riscos de desertificação não levam em consideração as águas subterrâneas e suas características, entretanto a presença ou ausência de água, sob qualquer forma, é elemento definidor dos riscos de desertificação em uma dada área e da possibilidade ou não de mitigá-los. Neste aspecto importa apontar que as águas subterrâneas, em especial no Estado da Bahia, constituem reservatórios por vezes maiores e com qualidade e potabilidade superiores que aquele dos rios. Destacando-se ainda que as águas subterrâneas são reguladoras do fluxo na superfície da descarga das fontes, contribuindo para a manutenção de nascentes, rios e lagoas. Sendo assim a componente hidrogeologia é de fundamental importância, em especial nas áreas semi-áridas do Nordeste que ocupam mais de 50 por cento da Bahia. Principalmente quando se tem como objetivo definir políticas públicas de convivência com o problema da seca ou mesmo ações de mitigação e reversão em áreas sob risco de degradação e/ou desertificação.

A desertificação traz na sua conceituação um distanciamento da compreensão geológico-geomorfológica de deserto, apesar de poder ser geradora do mesmo. Implica em um resultado direto da ação humana, mas não no sentido de um ambiente de baixa umidade controlado pelo vento, e sim em ambiente inóspito à vida, por perda de fertilidade e produtividade do solo. Tendo como consequência altas taxas de mobilização, redução da população e baixos índices de desenvolvimento humano. Seu estudo exige abordagem interdisciplinar e multicêntrica que trabalhe desde a compreensão do planeta a da ação humana, dos conhecimentos técnicos aos comunitários identificando as boas praticas de convivência, superação, mitigação ou mesmo reversão quando pertinentes, e apostando na inovação tecnológica como uma das formas de trabalhar o problema.

Para a consecução dos trabalhos foram utilizados dados de cerca de sete mil poços do estado (base CERB – Companhia de Engenharia Ambiental do Estado da Bahia) e mapas pré-existentis tais como: hidrogeológico; nitratos; vazão, potencialidade; vulnerabilidade e qualidade natural das águas subterrâneas: este com base no IQNAS - Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas do Estado da Bahia, metodologia desenvolvida por Oliveira et al., (2004a e 2004b); Silva et al., (2005); Oliveira et al. (2006) e Negrão(2007).

Este trabalho apresenta, utilizando o cenário Hidrogeológico, critérios de riscos de desertificação no Estado da Bahia, especialmente nas quatro áreas selecionadas. E, aponta sugestões para a modelagem de todo o Estado com vistas à indicação dos potenciais de risco. Usando como base o conhecimento de especialistas. Os mapas apresentados foram construídos com o auxílio do programa Arcview, utilizando-se na geração dos mapas secundários, critérios e pesos obtidos a partir dos dados básicos supracitados.

## **2-ÁREAS DE ESTUDO**

2.1 DOMÍNIOS HIDROGEOLÓGICOS - Utilizando-se o fator geologia associado ao fator climático (precipitação), podem-se delimitar áreas de comportamento hidrogeológico semelhante, compondo-se um mapa com domínios distintos associados aos tipos litológicos e índices pluviométricos. Cada domínio caracteriza-se pela capacidade de produção de seus poços e pela qualidade natural de suas águas. (GUERRA e NEGRÃO, 1996)

O Estado da Bahia com cerca de 564.000 km<sup>2</sup> de área territorial é constituído dos seguintes domínios hidrogeológicos: Coberturas Detríticas, Bacias Sedimentares, Metassedimentos, Calcários e Embasamento Cristalino, submetidos a condições climáticas variáveis com precipitações médias anuais de 400 a 2.600 mm/ano (Figura 1). Por razões que envolvem a qualidade das águas subterrâneas os domínios estão divididos em aquíferos localizados acima ou abaixo da isoietas 800mm/ano. O Estado da Bahia apresenta, no geral, alto potencial de produção de águas subterrâneas e tem cerca de 16 mil poços cadastrados.com distribuição bastante heterogênea.

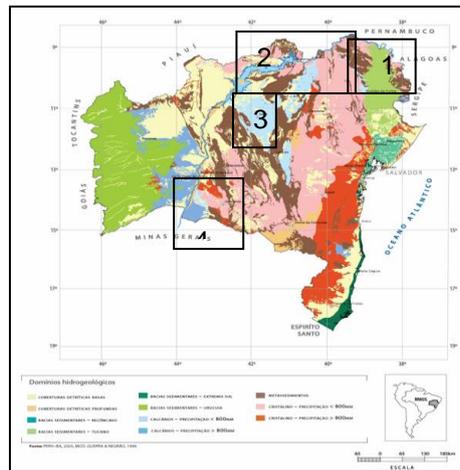


Figura 1. Domínios Hidrogeológicos e Áreas selecionadas para estudos de Risco de Desertificação no Estado da Bahia. 1- Jeremoabo, 2 - Juazeiro, 3 - Irecê e 4 – Guanambi.

Adaptado de (GUERRA e NEGRÃO, 1996).

No Estado foram indicadas quatro áreas como áreas de risco ou de desertificação. Estas áreas apresentam exposições dos diferentes domínios hidrogeológicos associados aos diversos tipos de aquíferos. Apesar disto na área de Jeremoabo (Figura 2) destaca-se a bacia sedimentar; em Juazeiro as coberturas das margens do São Francisco(Figura 3); em Irecê dominam os calcários (Figura 4) e em Guanambi ocorre domínio de embasamento cristalino (Figura 5).

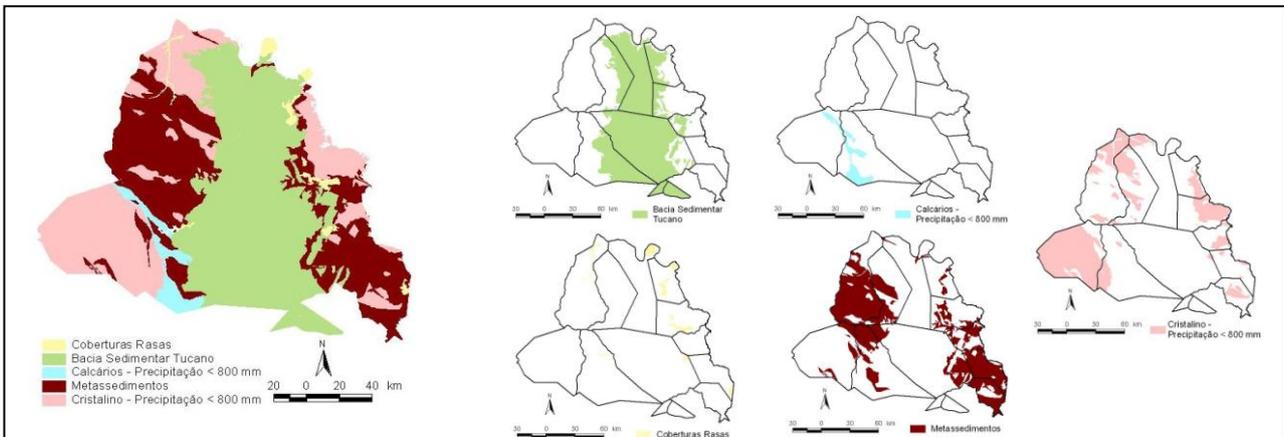


Figura 2 – Domínios hidrogeológicos na área de Jeremoabo.

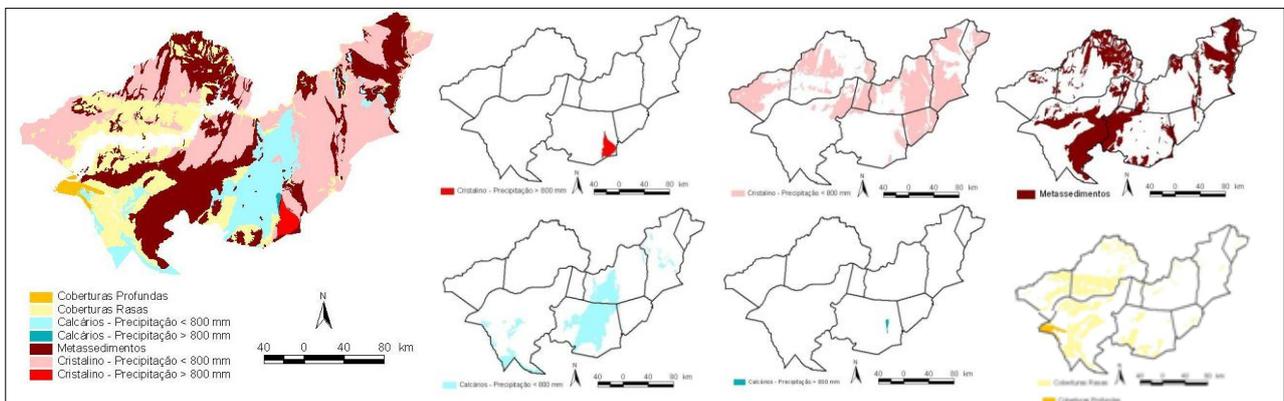


Figura 3 - Domínios hidrogeológicos da área de Juazeiro

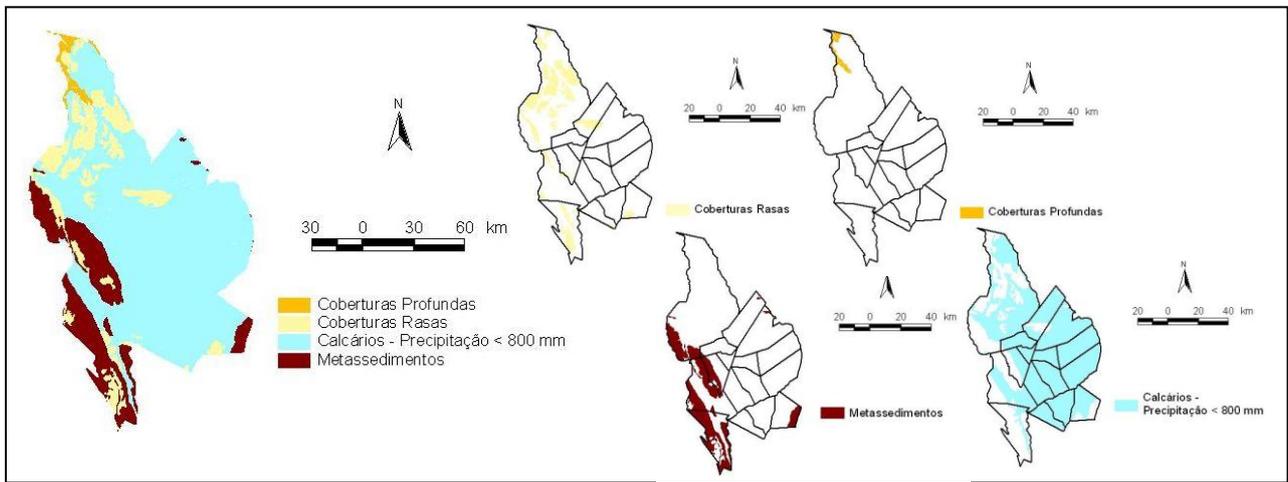


Figura 4 – Domínios Hidrogeológicos de Irecê

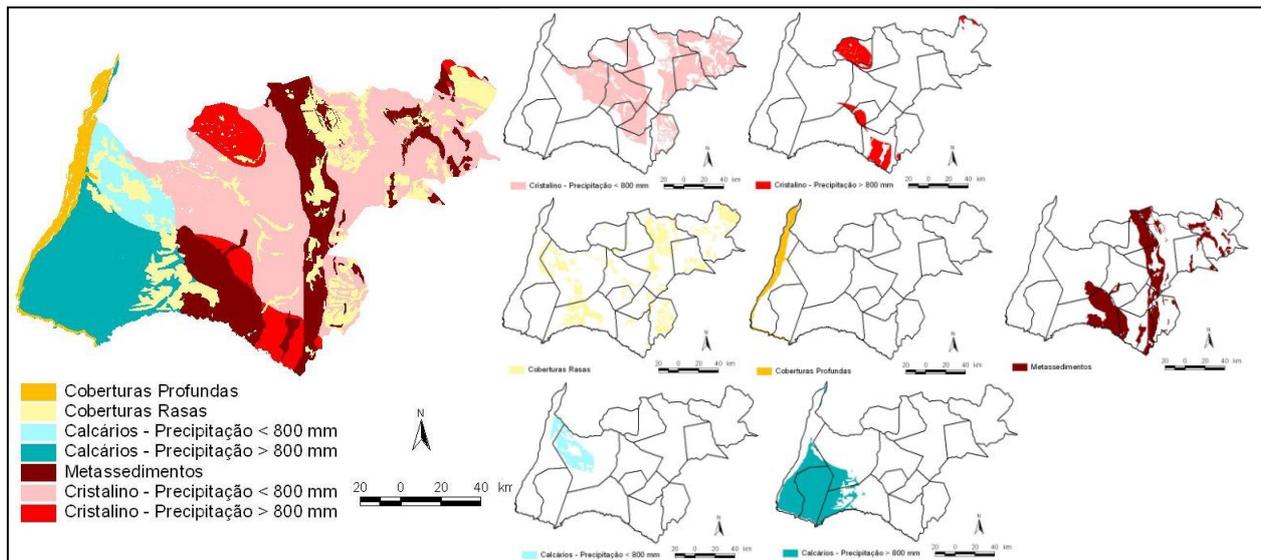


Figura 5 – Domínios hidrogeológicos da área de Guanambi.

2.2 – AQUÍFEROS - Os aquíferos dividem-se em três tipos básicos: porosos, fissurais e cársticos, podem ser livres ou confinados. Os aquíferos livres podem estar superpostos a qualquer domínio, ou tipo de aquífero e são regulados em especial pela precipitação, ou em alguns casos por corpos hídricos superficiais, naturais ou antrópicos, que lhe são adjacentes. A figura 6 apresenta os aquíferos da Bahia e das quatro áreas de estudo.

2.2.1 *Aquíferos Porosos.* - ocorrem nos domínios das coberturas e bacias sedimentares, recobrem 35% do estado, desconsiderando as áreas das coberturas rasas por serem aquíferos de transição. As coberturas profundas estão distribuídas por várias regiões, e cobrem aproximadamente 15% da área do Estado (88.273 km<sup>2</sup>). Dentre as Coberturas Profundas a mais importante é a Formação Vazantes, depositada nas margens do rio São Francisco e formada por uma espessa camada detrítica que armazena considerável quantidade de águas subterrâneas. Os poços tubulares das coberturas profundas podem atingir profundidades superiores a 50 m, com vazões de até 90 m<sup>3</sup>/h e águas, em geral, de boa qualidade química.

As Coberturas Rasas recobrem uma extensa área do Estado (Figura 6), com depósitos detríticos do quaternário, como areias de dunas e aluviões e depósitos terciários da Formação

Barreiras. Esses depósitos, quando espessos, podem armazenar grande volume de água, sendo recarregados diretamente por águas pluviais ou indiretamente pela descarga dos riachos. Os depósitos de pequenas espessuras (<10 m) são importantes reservatórios comunais no semi-árido

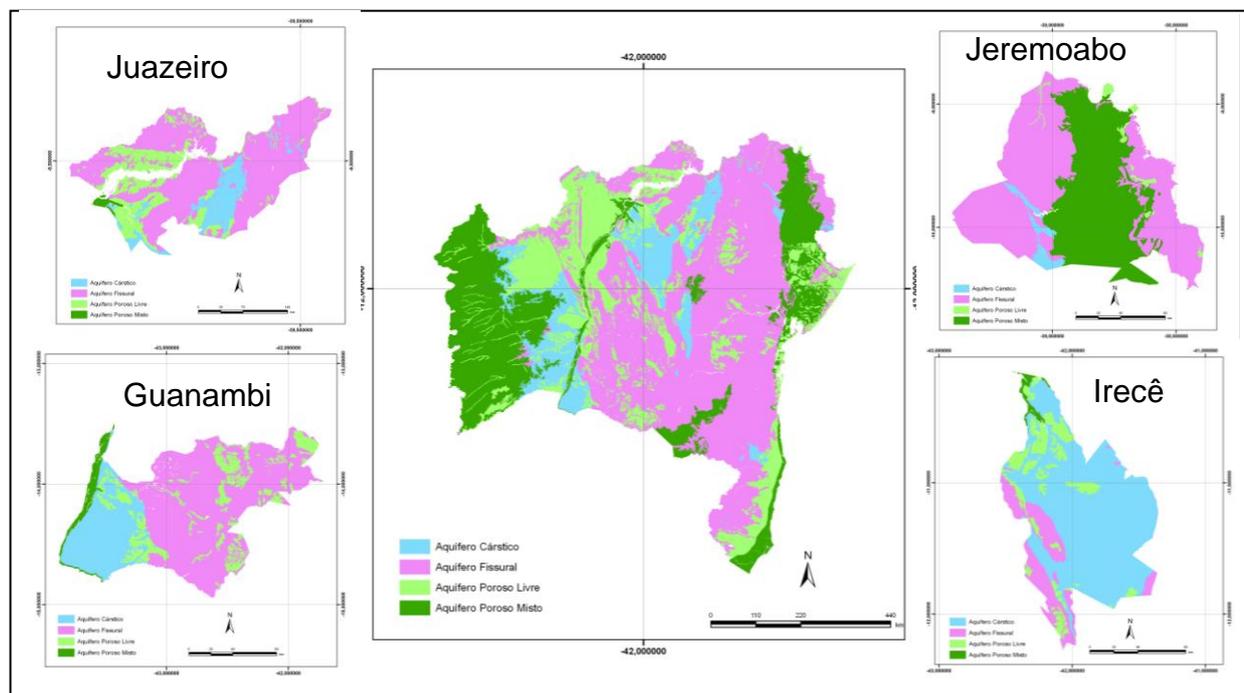


Figura 6 – Tipos de aquíferos na Bahia e áreas de estudo. Em azul aquíferos cársticos, tons de verde aquífero poroso, livre (claro), misto (livre+confinado, em escuro), aquífero fissural em roxo.

As Coberturas Rasas recobrem uma extensa área do Estado (Figura 6), com depósitos detríticos do quaternário, como areias de dunas e aluviões e depósitos terciários da Formação Barreiras. Esses depósitos, quando espessos, podem armazenar grande volume de água, sendo recarregados diretamente por águas pluviais ou indiretamente pela descarga dos riachos. Os depósitos de pequenas espessuras (<10 m), são importantes reservatórios comunais no semi-árido.

O Domínio das Bacias Sedimentares está representado no Estado pelas Bacias do Recôncavo/Tucano, Almada, Extremo Sul e Urucuia. Abrange aproximadamente 20% da área do Estado (111.600 km<sup>2</sup>). Estas bacias, com exceção de parte da Bacia de Tucano, situam-se, predominantemente, em faixas de isoietas acima de 800 mm/ano. As bacias do Recôncavo/Tucano formam um conjunto aquífero que se estende, desde a Região Metropolitana de Salvador, até a divisa da Bahia com o estado de Pernambuco. Dentre as bacias, a do Recôncavo é a mais explorada, com poços de até 420 m de profundidade e produção superior a 400 m<sup>3</sup>/h. Esse sistema aquífero possui a maior potencialidade, com ocorrência de água doce a profundidades superiores a 1.000 m (GUERRA e NEGRÃO, 1996) (Figura 6).

2.2.2 *Aquíferos Fissurais*. - estes aquíferos estão associados ao domínio dos metassedimentos e domínio do embasamento cristalino. Aproximadamente 15% da área do Estado (84.300 km<sup>2</sup>) está coberta por metassedimentos, com maior percentual em áreas de precipitações inferiores a 800

mm/anos. Os metassedimentos formam aquíferos livres de natureza fissural, similar do domínio embasamento cristalino. Diferenciam-se destes, entretanto, por vazões mais elevadas e por menor salinização de suas águas, em parte, devido à sua composição litológica rica em quartzo e, por ocorrerem em regiões de topografia e pluviosidade elevadas, como, por exemplo, a Chapada Diamantina.

As rochas do Embasamento Cristalino cobrem aproximadamente 36% da área do Estado (201.600 km<sup>2</sup>), sendo composta essencialmente por granitos, gnaisses, migmatitos e granulitos. Esse aquífero fissural apresenta reduzida potencialidade hídrica se comparado com os demais, subdividido em função da pluviosidade em dois subgrupos: subdomínio de pluviometria < 800 mm/ano; e subdomínio de pluviometria > 800 mm/ano. No primeiro localizam-se as áreas de maior carência hídrica do Estado, maior salinidade e maior aridez, decorrentes da baixa capacidade de armazenamento das rochas e do elevado índice de evaporação.

O subdomínio > 800 mm/ano representa o embasamento cristalino das regiões úmidas. Em consequência da maior pluviosidade, apresenta manto de intemperismo mais espesso e uma condição melhor de recarga, que influencia na produção dos poços e qualidade química de suas águas. (GUERRA e NEGRÃO, 1996).

*2.2.3 Aquíferos Cársticos* - estes por sua vez estão associados ao Domínio dos Calcários. Os terrenos calcários cobrem aproximadamente 14% da área do Estado (77.900 km<sup>2</sup>). No Estado predominam as rochas carbonatadas do Grupo Bambuí que ocorrem nos limites da bacia do rio São Francisco, nas regiões da Chapada de Irecê, vale do rio Salitre, Vale do Iuiú e região de Santa Maria da Vitória no Oeste do São Francisco. Os calcários, com porosidade e permeabilidade secundária, de natureza cárstico/fissural, propiciam a ocorrência de aquíferos com um sistema de elevada heterogeneidade e anisotropia, por serem rochas solúveis, apresentando feições morfo/estruturais típicas como dolinas, sumidouros, estruturas de desabamentos, canais de dissolução e cavernas.

A análise dos dados neste domínio mostra uma grande amplitude de variação em termos de vazão e sólidos totais. A média das vazões foi estimada em 9,12 m<sup>3</sup>/h, com baixa concentração de cloretos (GUERRA 1986; NEGRÃO, 1987).

Ainda na Figura 6 pode-se observar que nas áreas de detalhamento dos estudos sobre risco de desertificação todos os tipos de aquíferos ocorrem, havendo domínio do aquífero fissural enquanto área ocupada tanto em Juazeiro quanto em Guanambi, e do aquífero cárstico em Irecê, enquanto em Jeremoabo dividem o espaço os aquíferos fissural e o poroso, sendo restrita a área de ocorrência do cárstico. Aqui valem uma ressalva, apesar de restrita, essa área esta sendo usada a semelhança da de Irecê para plantio de Feijão.

**2.3 – QUALIDADE DAS ÁGUAS NO ESTADO DA BAHIA – em 2006, OLIVEIRA., NEGRÃO e SILVA,** apresentaram o IQNAS – Índice de Qualidade Natural para Aquíferos

Subterrâneos, baseado em modelo estatístico que levava em consideração os diferentes componentes químicos naturais dissolvidos nas águas, tendo como parâmetros de qualidade os limites de potabilidade estabelecidos em Lei. Tal modelo foi aplicado a cerca de 7 mil análises químicas de as águas coletadas em poços da CERB até o ano de 2006. (Figuras 7 e 8).

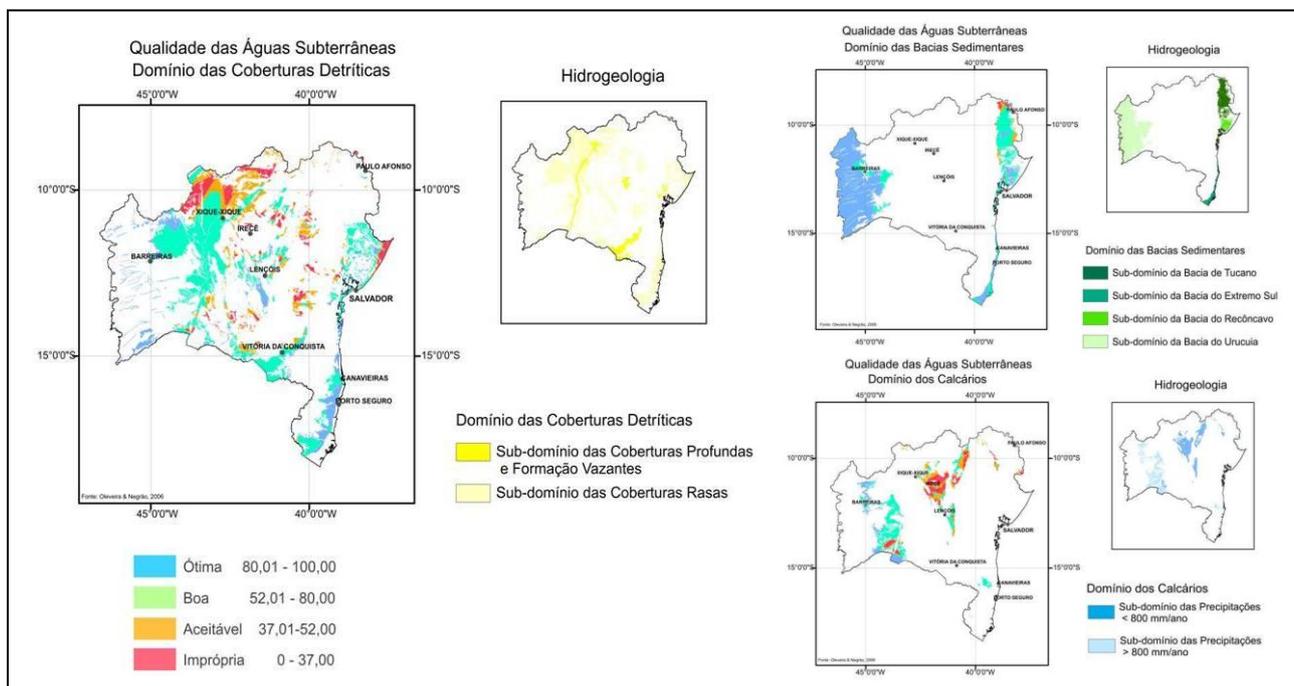


Figura 7 – Domínios dos aquíferos porosos e cársticos do Estado e suas qualidade, no mapa lateral a localização do domínio ao qual estes aquíferos estão ligados, adaptado de Negrão, 2007.

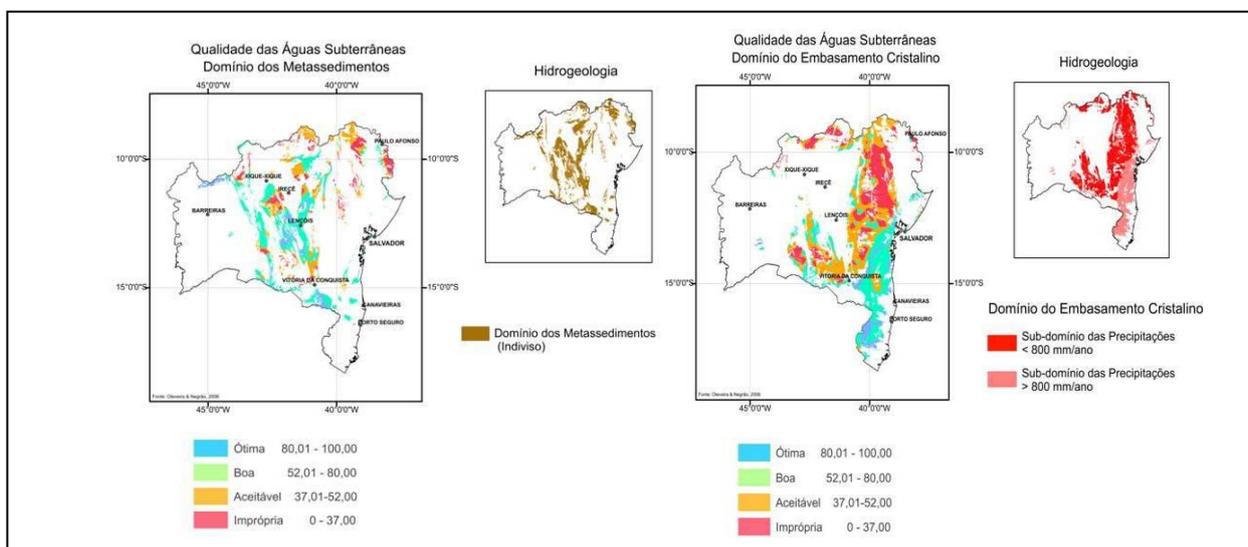


Figura 8 – Qualidade de água nos aquíferos fissurais do Estado, observe o mapa de localização específica dos domínios, no mapa de localização ao lado, modificado de Negrão, 2007.

O resultado foi um índice de qualidade das águas subterrâneas, bastante aceito pela comunidade especialista. Epacializando-se esse índice nos domínios Hidrogeológicos já descritos, se obteve a provável qualidade natural das águas do estado por domínio. Observe nas figuras, a distribuição do aquífero no estado com predomínio do fissural.

De forma geral as águas subterrâneas do Estado têm alta qualidade. Nas áreas dos aquíferos porosos e cársticos, nas áreas de Irecê, Juazeiro e pequena porção da área de Jeremoabo (Figura 7), apresentam água aceitável a imprópria para consumo humano, talvez melhor definida, para desertificação, como tratável. O aquífero fissural (Figura 8) apresenta diversas áreas definidas como impróprias, especialmente na área semi-árida de embasamento cristalino. Esta qualidade é melhor em áreas de precipitação acima de 800mm, devido a redução de salinidade, por conta de maior diluição. Neste domínio a qualidade tem relação direta com os sais dissolvidos na água e a baixa precipitação.

### 3-MATERIAIS E MÉTODOS (Figura 9)

Apresentar e mesmo discutir a hidrogeologia como um critério de desertificação, aparentemente é inédito, os levantamentos bibliográficos realizados não apresentaram a água subterrânea como um critério elencado entre aqueles que interferem na desertificação.

A desertificação é um processo antrópico por definição e altamente interdisciplinar, entretanto não considerar aspectos hidrogeológicos aparenta ser um equívoco já que ela pode ser a solução ou o início da mitigação do problema, bem como pode acirrá-lo se contaminada ou sobre explorada. Concomitantemente definiu-se abordagem e critérios que dentro deste foco (hidrogeologia) respondessem à desertificação.

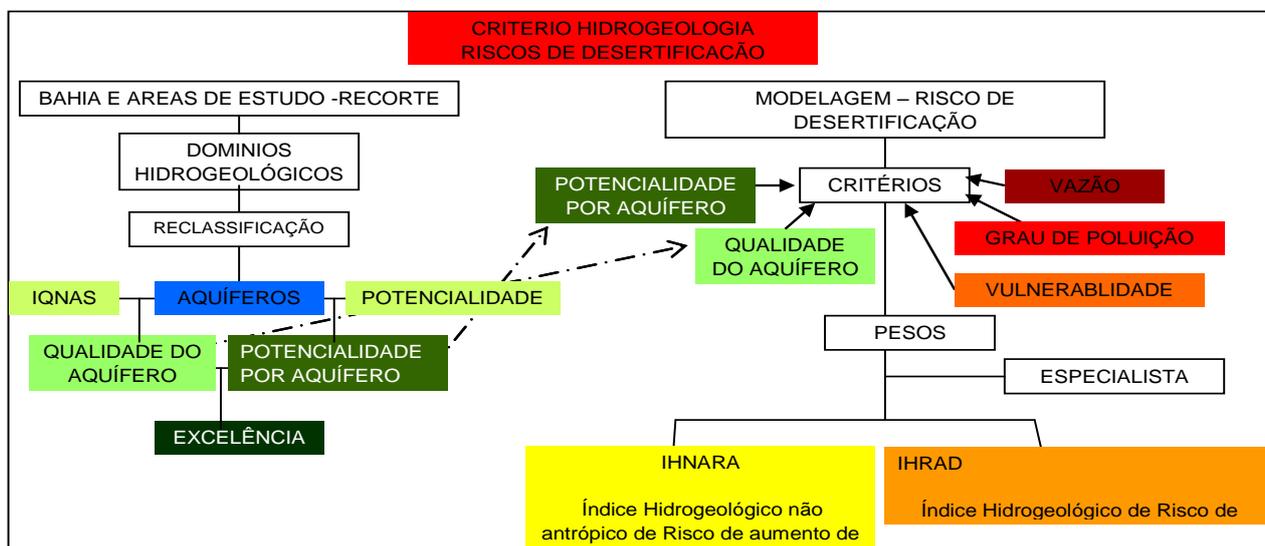


Figura 9 – Fluxograma metodológico da pesquisa realizada;

Compreendendo os sistemas e domínios aquíferos do estado (Negrão, 2007; Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, 2006), destacaram-se os itens: vazão, por conta do volume de água retirada para uso; vulnerabilidade do aquífero; potencialidade; a ser transformada em potencialidade do aquífero enquanto volume de água explotável, apesar de não necessariamente disponível; qualidade IQNAS, a ser transformada em qualidade por tipo de aquífero e finalmente nitratos como determinadores do grau de poluição, com a base legal de potabilidade (10mg/L-NO<sup>3</sup>-N).

3.1 – PRESSUPOSTOS PARA CONSTRUÇÃO DE INDICES - Para a Construção do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS, foi utilizada metodologia que envolveu a opinião de especialistas, a utilização de dados hidroquímicos e de métodos estatísticos, seguindo um roteiro similar ao discutido em Leite e Fonseca (1994). No desenvolvimento deste trabalho alguns aspectos semelhantes foram utilizados, os pesos, em especial, são propostos a partir da experiência de especialistas que auxiliaram a definir os melhores critérios e suas relações com a desertificação. Deve-se destacar que essa proposta não está desenvolvida completamente, sendo um dos objetivos deste artigo, ao apresentar-se em um congresso da área buscar o debate e a reflexão sobre a mesma, para testar e precisar seus critérios e pesos.

Um índice é concebido preenchendo os critérios gerais normalmente adotados, a saber: (1) o número de variáveis incorporadas ao índice é limitado, a fim de garantir a praticidade; (2) as variáveis utilizadas são os parâmetros mais significativos para se avaliar o que se pretende, ou seja, a interferência nos processos da degradação a desertificação; (3) as variáveis escolhidas são aquelas, dentro da disponibilidade de dados. Aqui serão usados os dados das águas subterrâneas já existentes ou passíveis de geração via geoprocessamento.

Propõem-se desenvolver dois índices hidrogeológicos de desertificação. O primeiro é um índice não antrópico de aumento da aridez, denominado IHNARA, baseado nas características físicas do aquífero. O segundo é o índice quanto ao de risco de aridização e desertificação denominado IHRAD, onde se soma o IHNARA e o grau de poluição produzida pela ação humana, detectando áreas de risco a desertificação. .

Para o desenvolvimento desta proposta foram realizados recortes, acompanhando as mascaras dos mais de meia-centena de municípios envolvidos em cada uma das quatro áreas indicadas, em todos os mapas bases selecionados para o estado da Bahia (ver fluxograma – Figura 9). Tomaram-se critérios já conhecidos e mapeáveis de qualidade de águas, construídos com base em dados auditados do sistema de poços da CERB, por Negrão (2007). O banco de dados envolve cerca de sete mil poços, e pode alcançar escalas de detalhe maiores que 1:50.000. Os recortes foram realizados com apoio no programa arcview.

Realizada a discussão sobre método e os critérios a serem utilizados; identificou-se a necessidade de utilizar aquíferos para trabalhar desertificação, já que a análise via domínios hidrogeológicos torna a interdisciplinaridade menos clara, neste estágio de discussão. Assim a primeira ação implicou em uma reclassificação dos domínios para aquíferos, mais ampla, por tipo e distribuição. Em seguida foram indicados como critérios importantes pela ordem:

- 1) A potencialidade do aquífero, um mapa secundário, produto direto dos mapas de aquíferos e da potencialidade dos domínios, considerado o mais significativo em processos de desertificação. Apresenta relação inversa de risco, quanto maior a reserva

explotável menor o risco. Sua legenda foi determinada comparativamente, devido a diferenças acentuadas de potencialidade no Estado, que apresenta extremos como o aquífero Urucuia com 700m<sup>3</sup>/s, e o Embasamento Cristalino com 13m<sup>3</sup>/s.

- 2) A vazão é outro fator importante, apresenta relação direta de risco, já que quanto mais água for retirada maior o risco de exaustão do aquífero. Além de poder, em áreas com focos poluentes, agravar situações de perda de qualidade ao captar ou drenar áreas contaminadas.
- 3) Nitratos – mapa que indica os efeitos já tangíveis da ação humana. Acima de 10mg/l, não pode ser consumida “in natura”. É um dato de alta relevância, pois indica a necessidade de tratamento, ou uso específico e menos nobre que consumo humano. Optou-se por uma legenda onde, áreas com nitratos acima do limite são consideradas tratáveis, não potáveis.
- 4) A vulnerabilidade do aquífero diz do risco a que está exposto o aquífero física ou quimicamente. Assim, quanto mais raso é o nível estático e erodível a litologia, mais vulnerável, se permite fácil percolação de resíduos e fluidos também. A vulnerabilidade diz da proteção a riscos da área, dada pela espessura da cobertura do aquífero.
- 5) IQNAS por aquífero, diz da qualidade da água subterrânea ponderando a carga química e de sólidos dissolvidos. É um mapa secundário, produto do IQNAS pré-existente (Oliveira, Negrão e Rocha, 2004) e o mapa de aquíferos gerado para este trabalho.

3.2 - EXCELENCIA DOS AQUÍFEROS NA BAHIA E NAS ÁREAS DE ESTUDO – a excelência de um aquífero é dada pela qualidade das suas águas e abundância. A qualidade por aquífero é o critério menos relevante para desertificação, já que, para uma área seca ou desertificada é melhor ter água, qualquer que seja. Ao somar-se qualidade com a potencialidade do aquífero, o resultado é o mapa denominado grau de excelência dos aquíferos, onde estão as zonas de abundância e qualidade, indicando áreas de prioridade de proteção e economicamente importantes.

Os mapas em sua maioria são semafóricos, optando pela informação rápida e direta, visualmente correlacionável. Assim, o vermelho indica risco ou problemas, aspecto mais negativo quanto ao tema do mapa, as áreas verde ou azul tem características mais positivas.

#### **4-RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste item opta-se por apresentar primeiro o material que é resultado de recortes e suas análises. Assim inicia-se com a vazão e a vulnerabilidade natural do aquífero. Seguem-se os itens qualidade natural dos aquíferos, e potencialidade. O fechamento se faz com o mapa de excelência de aquíferos e a análise da situação em cada uma das áreas de estudo, apresentando sugestões dos índices hidrogeológicos e prevendo resultados da futura modelagem de risco.

4.1 – VAZÃO – o mapa de vazão, figura 10, apresenta a água já disponibilizada através de poços para a população estes dados referem-se até 2007.

Na análise deste critério aqui considerado favorável a desertificação deve-se considerar que a alta exploração de aquíferos põe em risco a continuidade do uso e pode alterar a sua dinâmica. Quando ocorre rebaixamento exagerado, pode-se afirmar que o limite de uso foi ultrapassado e tal situação interferirá na potencialidade do aquífero, que entrará em declínio e tendência a desestruturação da malha superficial e da dinâmica de fluxo.

A legenda utilizada considera um poço com vazão abaixo de mil litros hora – seco. Entretanto ha que se ponderar algumas situações, pois em casos de ausência do recurso, mesmo volumes de mil litros/hora, permitirão o abastecimento básico de uso humano. Se considerando consumos pouco abaixo de áreas com grande disponibilidade, em torno de 50l/ pessoa / dia, um poço no limite do seco, pode abastecer 20 pessoas. Em áreas em desertificação, tal poço pode ser a diferença entre o permanecer na área e a inviabilidade de ocupação.

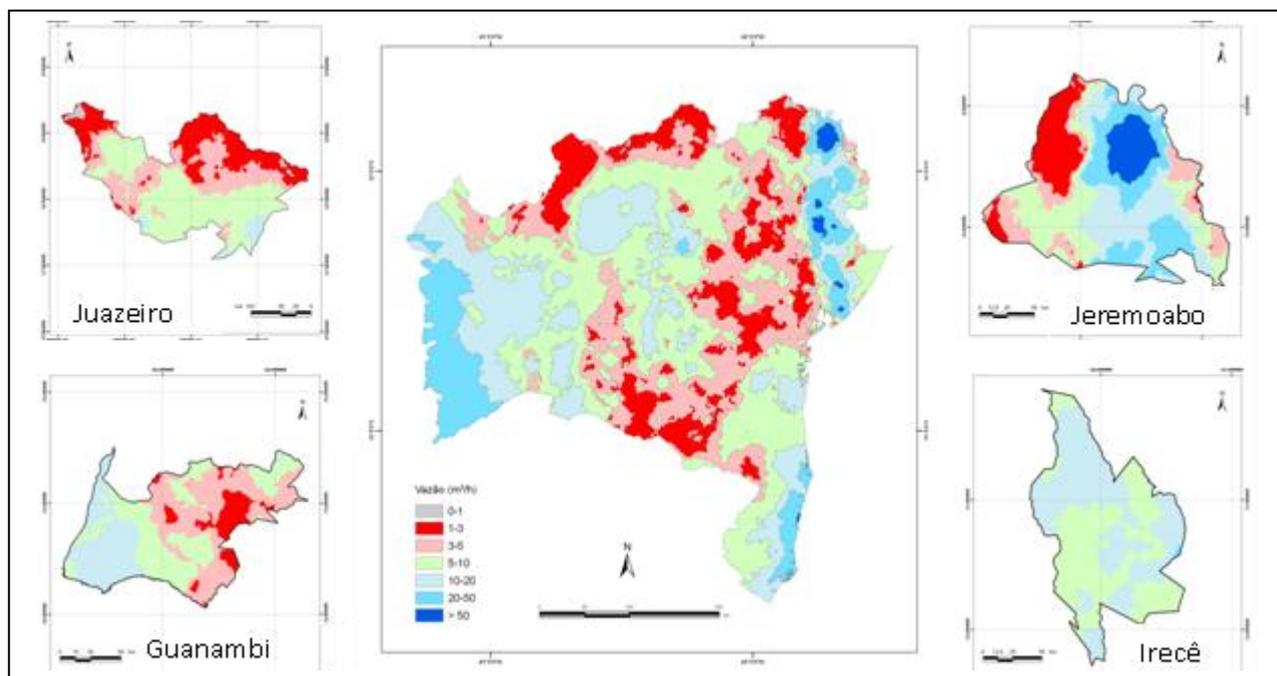


Figura 10 - Vazão dos aquíferos na Bahia e áreas de estudo selecionadas

Observando o mapa apresentado na figura 10, observa-se que, na região coberta pelo semi-árido, está uma figura circular que representa a área com menor disponibilidade de água do Estado. Dentro dela, situa-se a região da Chapada Diamantina e sua continuidade ao norte, mostrando porque é considerada a caixa d'água do Rio Paraguaçu, devido a sua maior altitude e pluviosidade.

As áreas de maior potencial do Estado estão nas faixas leste e oeste. Mais especificamente, e provavelmente por conta de ser a área mais ocupada – implicando maior número de poços perfurados- a bacia do Recôncavo apresenta as maiores vazões, portanto os maiores riscos de rebaixamento. Já existem indicações de rebaixamento por super exploração nas áreas de Irecê

(Negrão, 1987) e Camaçari, com riscos de contaminação do aquífero, já que se encontra nestes locais, respectivamente, tradicional pólo agrícola e industrial da Bahia.

4.1.1 – *As Áreas de Desertificação Indicadas* – Observando-se as áreas indicadas para estudo, na figura 10, apenas Irecê não apresenta poços com vazões baixas. Todas as demais têm regiões de deficiência de disponibilidade, o que nestes recortes específicos não se pode reportar a ausência de estruturas de captação, mas ao tipo do aquífero e sua potencialidade.

A área de Jeremoabo é compensada com vazões bastante altas, decorrentes dos aquíferos porosos da Bacia do Recôncavo, enquanto Juazeiro aproveita das coberturas das margens do São Francisco, e Guanambi do aquífero cárstico a sudoeste dos seus limites.

Não se devem entender estas análises como situações que resolvem o problema nas áreas menos favorecidas, mas como elementos para mitigar a questão da disponibilidade, especialmente para consumo humano, apesar de ser necessário considerar as relações custo benefício e a capacidade econômica dos municípios de instalar estruturas de captação e distribuição.

4.2 – **VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO** – A figura 11, apresenta a vulnerabilidade no Estado da Bahia e nos recortes estudados. O mapa foi construído a partir da metodologia GOD por Negrão (2007). Pode-se afirmar que o estado apresenta alta vulnerabilidade, produto da predominância de aquíferos fissurais, entretanto, os aquíferos mais protegidos são aqueles com as maiores vazões e potencialidade.

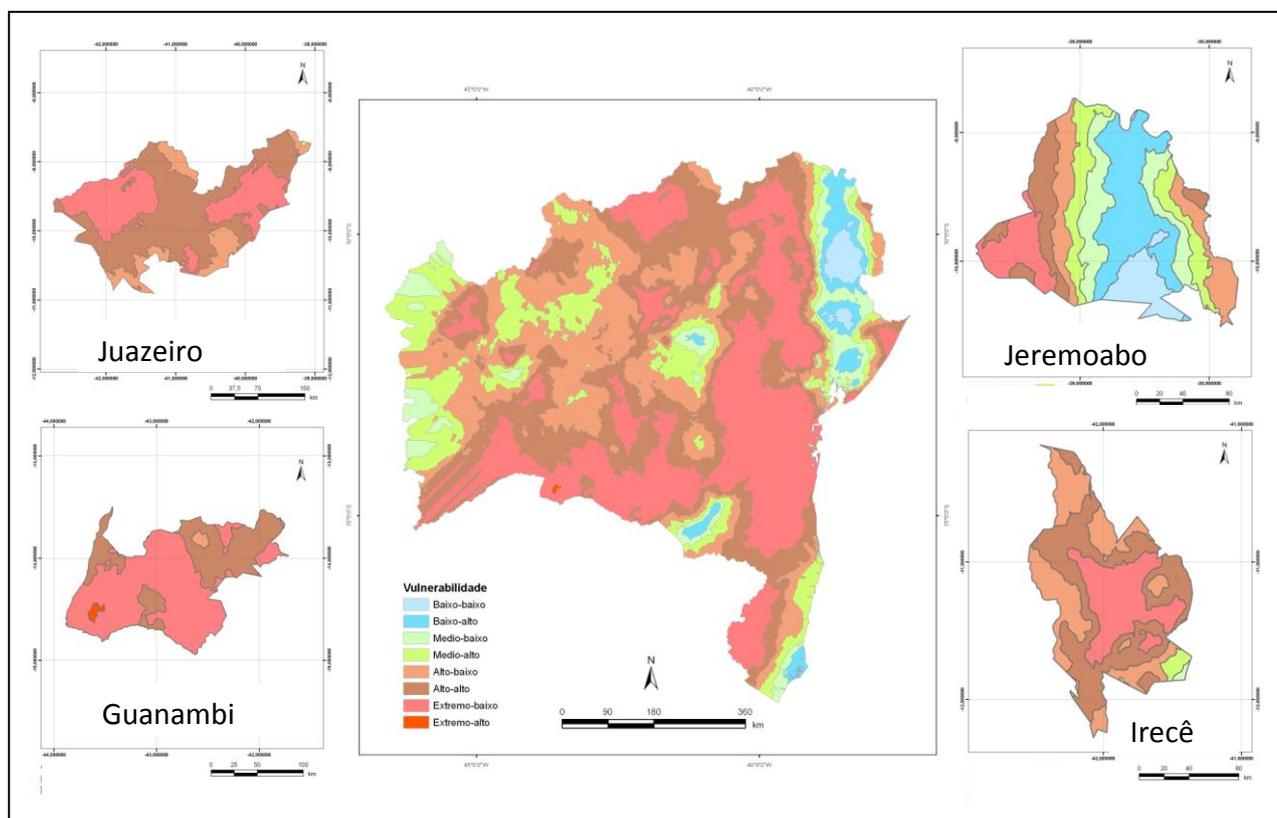
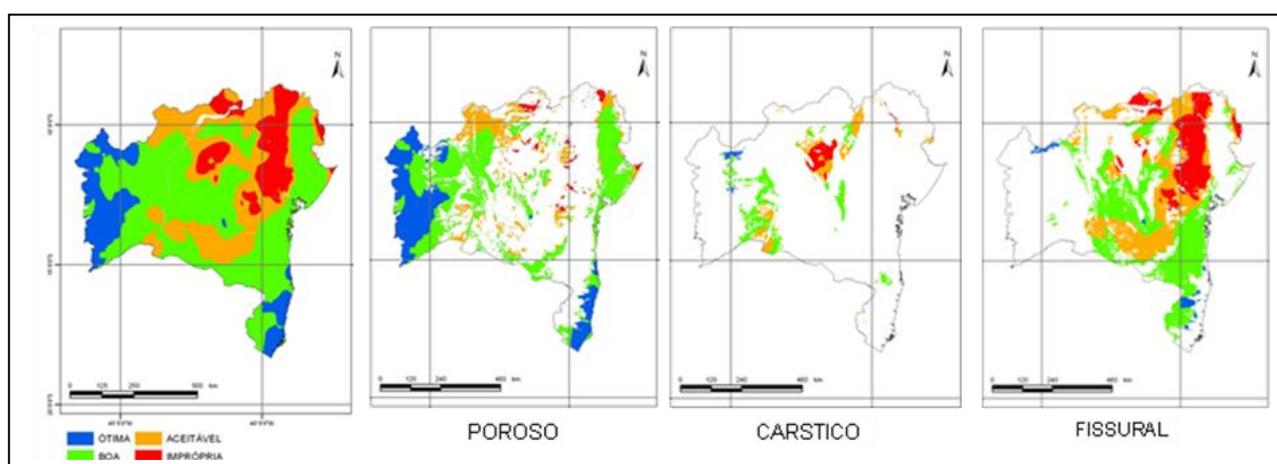


Figura 11 – Vulnerabilidade natural o aquífero no estado e nas áreas de estudo indicadas, modificado de Negrão, 2007

4.2.1 - *As Áreas de Desertificação Indicadas* – as áreas de estudo repetem o comportamento do estado, apenas a região de Jeremoabo apresenta baixa vulnerabilidade na região da bacia sedimentar. Destaca-se em Guanambi pequena região, com a mais alta vulnerabilidade do Estado, associada ao aquífero cárstico.

4.3 – QUALIDADE DOS AQUIFEROS -A qualidade dos aquíferos do Estado resulta do cruzamento dos mapas de IQNAS, para os diversos domínios hidrogeológicos com o mapa dos aquíferos agrupados em fissurais, cársticos e sedimentares. Na figura 12 observa-se em primeiro lugar que o aquífero fissural possui maior extensão de águas impróprias para consumo humano. Em segundo tem-se o aquífero cárstico da região de Irecê. O aquífero poroso e o melhor aquífero do Estado.



.Figura 12 - Qualidade dos aquíferos no estado da Bahia

#### 4.3.1. *Qualidade dos aquíferos nas áreas de desertificação.*

4.3.1.1 Área de Jeremoabo - Observando-se a figura 13 pode-se afirmar que a região do aquífero poroso apresenta as melhores áreas próprias para consumo humano, os demais aquíferos aceitável a imprópria com reduzidas áreas próprias. Tal configuração apresenta neste critério um alto risco de desertificação em mais de 50%, sendo quase o total deste percentual área imprópria, como localizada no fissural esta configuração reflete salinização e baixas vazões.

4.3.1.2 Área de Juazeiro -Observando-se a figura 14 pode-se afirmar que em todos os tipos de aquíferos, predominam as águas de qualidade aceitável. Na região do aquífero poroso apresentam-se as melhores áreas próprias para consumo humano, por conta das coberturas do São Francisco. No aquífero fissural, existem áreas boas para consumo, entretanto as vazões são baixas. A semelhança da área de Jeremoabo, mas de 50% da região em estudo apresentam risco de desertificação neste critério.

4.3.1.3 Área de Irecê - Na figura 15 se destaca nesta região cerca de 50% de áreas impróprias e menos de 20% de áreas boas para consumo humano,. Tal configuração se deve ao pólo agrícola que sobre explota o aquífero combinado a liberação de esgotamento sanitário no aquífero cárstico.

4.3.1.4 Área de Guanambi - Observando a figura 16 pode-se afirmar ser esta a única área de estudo onde predominam águas com qualidade para consumo, aproximadamente 50% da área tem águas boas, o restante aceitável. Neste critério não há risco de desertificação. Deve-se destacar que, apesar desta configuração, a área tem predomínio do aquífero fissural, o que implica baixas vazões

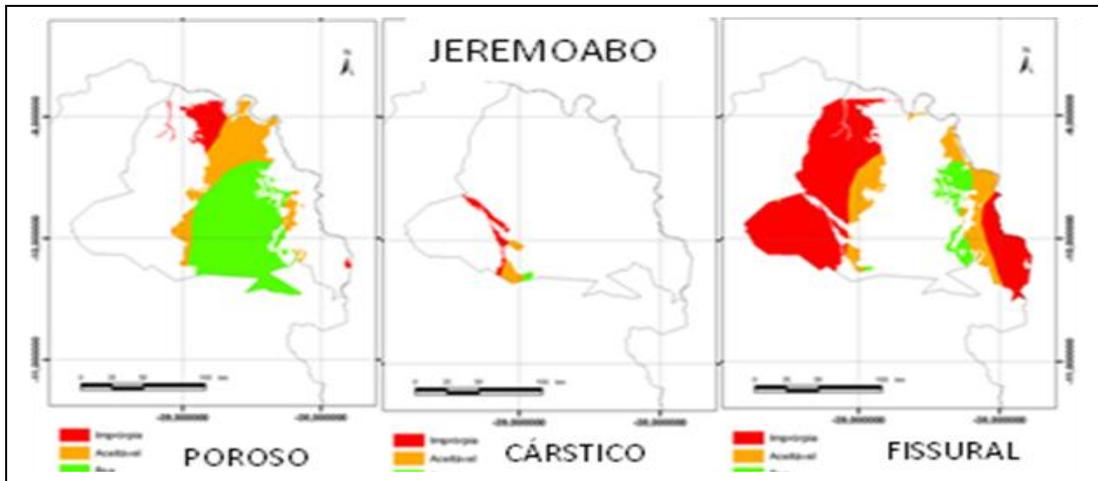


Figura 13 – Qualidade por aquífero - Área de Jeremoabo.

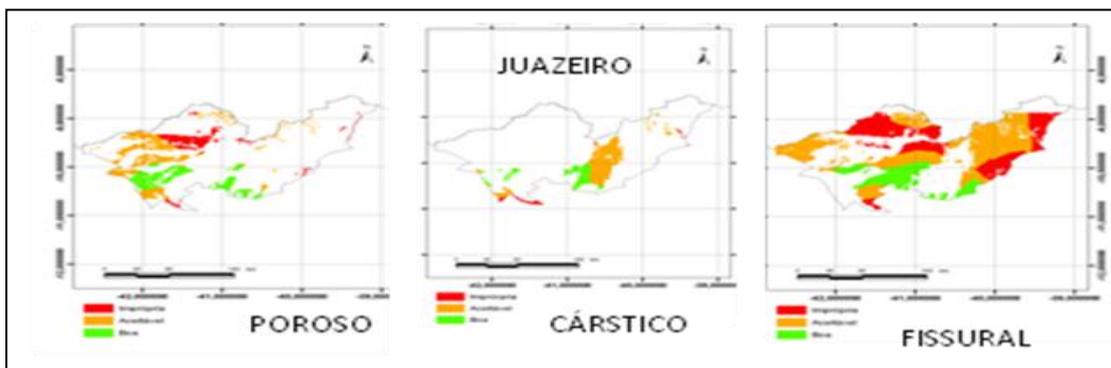


Figura 14 - Qualidade por aquífero - Área de Juazeiro

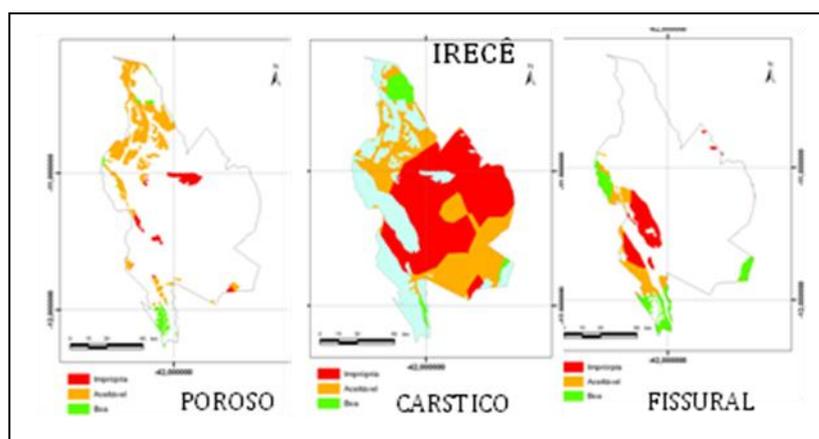


Figura 15 - Qualidade por aquífero - Área de Irecê

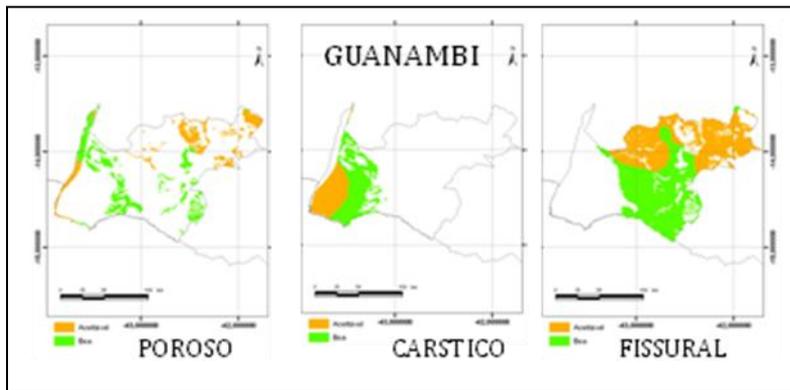


Figura 16 - Qualidade por aquífero - Área de Guanambi

4.4 – POTENCIAL DOS AQUÍFEROS DA BAHIA – Esta análise é marcada pela disparidade, como mostrado nas figuras 17 a 19. No estado da Bahia os aquíferos porosos e o aquífero fissural apresentam valores de potencialidade extremos. Mesmo no aquífero poroso pode-se observar desde o Aquífero Urucuia com 700m-s, até o aquífero Vazantes com 42m<sup>3</sup>/s

Assim a análise direta no mapa deve ser realizada a luz desta compreensão. Se compararmos os porosos com os fissurais, estes seriam compatíveis, no máximo com o aquífero Vazantes, a menor potencialidade dos aquíferos porosos. Já o aquífero cárstico apresenta dois comportamentos potenciais distintos, controlados especialmente pela precipitação, onde se tem mais que 800mm-ano, o potencial é similar aos porosos e esta de acima da media, onde esta precipitação está abaixo deste valor, o potencial esta entre os menores valores observados, comparável com os fissurais.

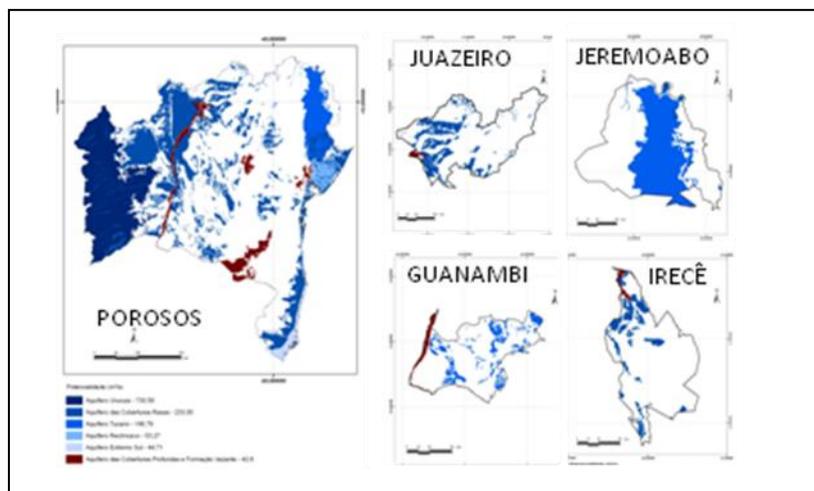


Figura 17 Qualidade dos aquíferos porosos da Bahia

4.5 - EXCELENCIA DOS AQUÍFEROS NA BAHIA E NAS ÁREAS DE ESTUDO – a excelência de um aquífero é dada pela qualidade das suas águas e abundância. A qualidade por aquífero é o critério menos relevante para desertificação, importa a existência de água, qualquer que seja. Ao somar-se qualidade com a potencialidade do aquífero, o resultado foi denominado grau de excelência dos aquíferos, indica as zonas de abundância e qualidade, apontando prioridade econômica e de proteção (Figura 20).

Neste critério a disparidade, acima discutida, também atua. Observando o mapa resultante a área de excelência, reflete a disparidade e reduz-se ao aquífero Urucuia visto que, com 700m-s não há comparação com os demais.

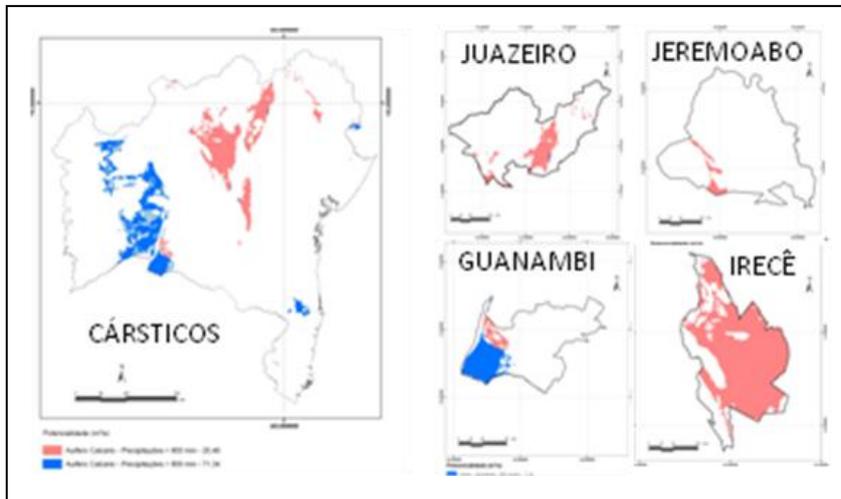


Figura 18 - Qualidade dos aquíferos cársticos da Bahia e áreas de estudo.

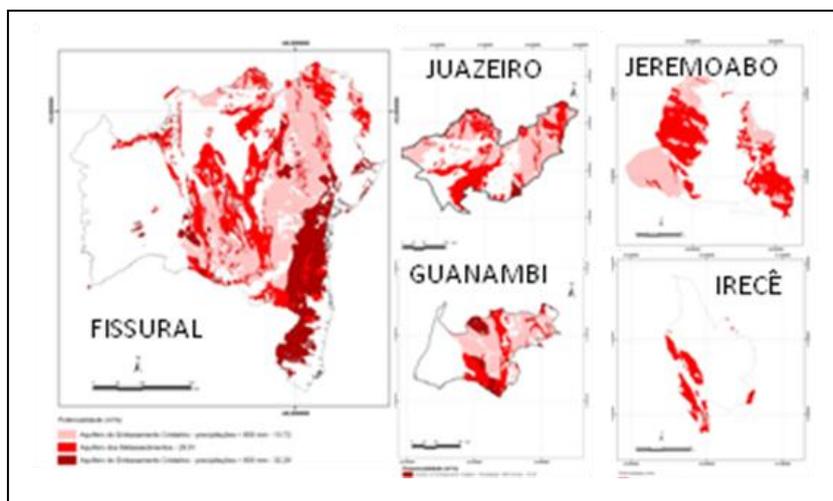


Figura 19 - Qualidade dos aquíferos fissurais da Bahia e áreas de estudo.

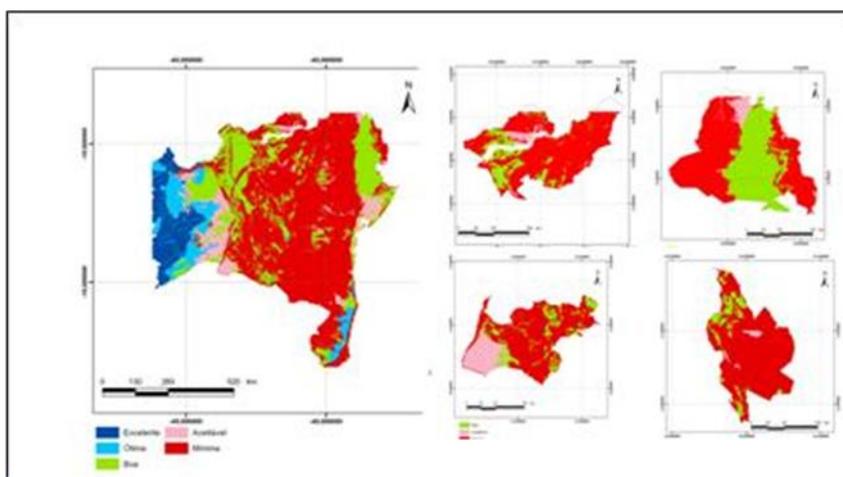


Figura 20- Graus de Excelência dos aquíferos para Bahia e áreas de estudo.

Por outro lado, os aquíferos de qualidade superior, excelentes e ótimos, são os mesmos de maior potencialidade, ou seja, os porosos, acentuando a baixa excelência dos aquíferos fissurais, mesmo que importantes na área que ocorrem em qualidade e/ou potencial de uso.

Os aquíferos cársticos têm variações de excelência que refletem a dicotomia de potencial e qualidade discutidas anteriormente. Apresenta graus de excelência melhores no oeste da Bahia, devidos a qualidade superior das águas e a influencia do aquífero Urucuia. Comparados aos fissurais são melhores que a maioria deles, a exceção daqueles de composição quartzosa.

Entre os aquíferos fissurais o baixo grau de excelência apresentado está diretamente relacionado à baixa potencialidade. Já a variabilidade nesta mesma excelência correlaciona-se a qualidade da água, variável controlada pela pluviosidade.

Nas áreas de estudo o mesmo raciocínio se reflete. A bacia Recôncavo-Tucano, na região de Jeremoabo, apresenta grau bom de excelência, como as coberturas em Juazeiro (do Rio São Francisco), Irecê e Guanambi, todos do aquífero porosos. Aqui uma orientação se aplica quanto à desertificação, há urgência de proteção destas áreas específicas, especialmente na região de Juazeiro e Irecê, já contaminadas.

4.6 – ÍNDICES DE DESERTIFICAÇÃO PELO CRITÉRIO HIDROGEOLOGIA – O IHNARA (Índice Hidrogeológico Não Antrópico de Aumento de Aridez) reflexo de critérios físico-ambientais, e o IHRAD (Índice Hidrogeológico de Risco de Aridização e Desertificação) que associa o primeiro as ações antrópicas via grau de poluição, dado pelo mapa de Nitratos são os índices hidrogeológicos sugeridos para estudos de desertificação.

Após análises dos critérios anteriormente apresentados, chegou-se a proposição da seguinte ordem de importância- para o IHNARA, importa a excelência e vulnerabilidade do aquífero, tomando-se como base o semi-árido, com pesos sugeridos na figura 21.

Considerando os critérios para o IHRAD, pela ordem- Potencialidade do aquífero, Vazão, Grau de Poluição, Vulnerabilidade e Qualidade, com os pesos conforme sugestão na figura 21. Os pesos apresentadas foram construídos utilizando sugestões de especialistas, estando abertos a posteriores discussões e correções.

IHNARA	IHRAD
80%Excelência aquífero	40%Potencial aquífero
20% Vulnerabilidade	27%Vazão
	16% Grau de Poluição
	10% Vulnerabilidade
	07% Qualidade Natural

Figura 21 – Índices e pesos sugeridos.

## 5- CONCLUSÕES

O estado da Bahia tem potentes aquíferos, em contrapartida mais de 50% de sua área é coberta por aquíferos de baixa qualidade e potencialidade, ou seja, de baixa excelência. Frente a

esta realidade, que envolve especialmente o semi-árido, ganham relevância os núcleos de maior excelência ai existentes como áreas de preservação prioritárias para evitar o risco de desertificação.

As áreas indicadas para estudo de risco de desertificação mostraram

1) Jeremoabo - tem 50% de aquíferos fissurais, com baixas vazões e qualidades de água. Apresenta o melhor aquífero dentre todos os recortes realizados.

2) Juazeiro – apresenta qualidades baixas de aquífero na sua maior extensão, com baixas vazões, e utilização intensa, promovendo riscos no seu aquífero, exige cuidado com as áreas mais distantes do Rio São Francisco que apresentam pequenos núcleos de excelência, devendo ser elemento de monitoramento quanto ao desenvolvimento de desertificação.

3) Irecê – área de exploração a mais de quatro décadas, se encontra em risco devido à sobre exploração dos seus aquíferos, agravado pelo lançamento de efluentes sanitários sem tratamento nos dentro dos aquíferos (Negrão 1987). Exige cuidado com as áreas ainda pouco contaminadas (10%), e a implantação urgente de rede de monitoramento do aquífero, além de providências quanto aos efluentes, seu lançamento e usos possíveis frente à situação de degradação já existente. É uma área hidrogeologicamente em franco processo de desertificação.

4) Guanambi – apresenta os aquíferos de melhor qualidade entre as áreas estudadas. Sua exploração é recente e baixa não havendo risco hidrogeológico de desertificação atualmente. Apresenta baixa excelência e alta vulnerabilidade, nesta região esta o ponto de vulnerabilidade extrema do Estado. O aquífero cárstico ainda não contaminado representa 25% da área, entretanto, por ser uma zona agrícola a semelhança de Irecê exige cuidado para que se evite a propagação dos riscos de degradação ali instalados.

Desde já se deve considerar que o mapa de risco hidrogeológico para desertificação deve ser trabalhado com os demais critérios bióticos, físicos e socioeconômicos.

As propostas de modelagem do IHNARA e do IHRAD serão testadas brevemente e espera-se que os índices propostos sejam confirmados pelas avaliações realizadas nas áreas de estudo e possam ser estendidos para o estado da Bahia e demais estados do Nordeste semi-árido auxiliando a identificação de áreas potenciais de desertificação.

## **6- AGRADECIMENTOS E ESCLARECIMENTOS**

À Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB) pela sessão dos dados de poços tubulares; a UEFS pela disponibilização de infra-estrutura e ao INGÀ, na figura dos seus gestores Dr. Julio Rocha (2007-2010), responsável pelo convênio UEFS-INGA : Atlas de Desertificação na Bahia, gerador deste artigo, pela oportunidade de realizar este estudo. Agradecimento especial deve-se a Prof<sup>a</sup>. Iara Brandão Oliveira (UFBA) e ao Dr. Francisco Negrão pelo desenvolvimento do IQNAS, suporte precioso a este trabalho.

O trabalho desenvolvido teve contribuição diversa por autor. São responsáveis diretos e pelo conteúdo do texto e possíveis erros, proposta metodológica e análises os Drs. Francisco Negrão e a Prof<sup>a</sup>. Marjorie Cseko Nolasco; os alunos Leônidas Marques; Marcos de Oliveira Silva; Elisângela Barbosa Alves e Ana Paula Mascarenhas; nesta ordem, compuseram a equipe que ao aprender realizou os processamentos mais pesados permitindo aos autores principais dedicar-se a reflexão e análise, garantindo velocidade ao trabalho. Os Profs. Drs. Ardemírio de Barros Silva e Rosângela Leal, forneceram suporte em geoprocessamento, orientando a equipe de alunos quando dúvidas apareciam; Profs.Drs. Joselisa Maria Chaves e Washington de Jesus Santana da Franca Rocha coordenaram o esforço da equipe. A primeira, a equipe de meio físico, onde hidrogeologia foi alocada, e o segundo a equipe geral, garantido prazos e suprimindo ausências e finalmente, mas não menos importante a Prof. Msc. Raquel Vale que realizou a coordenação executiva do convênio articulando todas as equipes, reuniões e apresentações.

## 7- REFERÊNCIAS

ELLIS, E.C. & RAMANKUTTY, N., Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(8): 439-447 (Link para download).

GUERRA, A. M. e NEGRÃO F. I. Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia. **Anais** do IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, Bahia. 1996.

LEITE, F. e FONSECA, O., Aplicação de índices de qualidade das águas na Lagoa Caconde, Osório, RS. **Anais** do Seminário de Qualidade das Águas Continentais no Mercosul, Organizador: David M. Marques - ABRH. 1994.

NEGRÃO F. I. **Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê-Ba.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP, 1987.

NEGRÃO F. I. **Hidrogeologia do Estado da Bahia: qualidade, potencialidade, disponibilidade, vulnerabilidade e grau de poluição.** Tese de Doutorado, Instituto Universitário de Xeoloxía Isidro Parga Pondal da Universidade da Coruña, Espanha, 2007.

OLIVEIRA I. B., NEGRÃO, F. I., SILVA, A. G. L. S. Aplicação do Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas – IQNAS, Para os Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia. **Anais** do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba/PR. 7-10 Novembro de 2006.

SILVA, A. G. L. S, OLIVEIRA I. B., e NEGRÃO, F. I., Determinação do Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas IQNAS, com Base nos Dados de Poços Tubulares do Estado da Bahia”. **Livro de Resumo** do XXIV Seminário Estudantil de Pesquisa - SEMEP, UFBA. Salvador, BA., 9-12 de Novembro de 2005.